

A sófelhalmozódás vizsgálata homokos vályogtalajokban négyelektródás szondával

S. P. SINGH és B. PAL

Agrai Egyetem Raja Balwant Singh Intézete, Bichpuri-Agra (India)

A talajok sótartalmának helyszíni mérését lehetővé tevő sószenzoros, illetve négyelektródás módszerek kifejlesztéséhez számosan hozzájárultak [6, 7, 8, 9]. Kísérletek történtek arra, hogy az elektromágneses indukciós módszert a talajok sótartalmának távérzékeléses mérésére alkalmazzák [11]. A talajtakaró szélsőséges heterogenitása és komplexitása azonban — a meghatározó tényezők által mutatott hiszterézis miatt — a mérésekben nehézségeket okozott. Annak érdekében, hogy a hiszterézis szerepét a sótartalom meghatározásában bemutassuk, vizsgáltuk homo- és kevert ionos sókészlet esetében agyagos vályogtalaj elektromos vezetőképességét négyelektródás szondával. Arra törekedtünk, hogy megalapozzuk és igazoljuk a négyelektródás szonda alkalmazhatóságát közvetlen és pontos szabadföldi mérésekre.

Anyag és módszerek

Hat-hat, különböző koncentrációjú oldatot készítettünk NaCl -, CaCl_2 -, MgCl_2 -, NaSO_4 -, NaHCO_3 -, Na_2CO_3 -sókból, valamint sókeverékből, mely Na^+ -, Ca^{2+} -, Mg^{2+} -, Cl^- -, HCO_3^- - és SO_4^{2-} -ionokat tartalmazott 4:1:1:6:1:1 arányban. Az oldatok elektromos vezetőképességét előzőleg platina elektródával kalibrált négyelektródás szondával állítottuk be (EC_s). A homokos vályogtalajból az oldatokkal negyvenkét darab telítési talajpépet készítettünk. Minden egyes talajpép egy részletét az előzetesen bekalibrált négyelektródás szonda csészéjébe helyeztük, és meghatároztuk az elektromos vezetőképességét (EC_{ps}). A talajpépek másik részéből talajkivonatokat készítettünk, és megmértük ezek elektromos vezetőképességét (EC_{es}). A talajpépek harmadik részét zárt laboratóriumi feltételek között megszáritottuk. A száraz mintákat a szokásos módon előkészítettük, és desztillált vízzel telítési pépet készítettünk belőlük. A pépek egy részét az előzőleg kalibrált négyelektródás szonda csészéjébe helyeztük, és mértük elektromos vezetőképességüket (EC_{pw}). A telítési pépek másik részéből kivonatokat készítettünk, hogy ezek vezetőképességét is meghatározzuk (EC_{ew}). Az EC_{es} -, EC_{ew} - és EC_s -értékeket előzetesen kalibrált négyelektródás szonda kerámia csőbe [3] erősített egységeinek segítségével mértük. A pépeket zárt edényben tartottuk, az EC_{ps} - és EC_{pw} -értékeket a pépek készítése után közvetlenül, majd huszonnégy óra, illetve harminc nap elteltével határoztuk meg. A jelen

dolgozatban a talajpépek készítése után közvetlenül mért elektromos vezetőképességek értékeit közöljük.

A kísérletben használt talaj homokos vályog mechanikai összetételű. A mintában 19% agyag-, 15% iszap- és 65% homoktartalmat mértünk. A telítési százalék (SP) 25, a kationcserélő kapacitás 12, 0 me/100 g, a vizes talajszuszpenzió pH-értéke 8 volt. Az eredeti talajminta telítési kivonatának elektromos vezetőképessége: $1,95 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ volt.

A mérési eredmények és értékelésük

Az 1. táblázatban a 25°C -on mért vezetőképességi értékeket, a vezetőképességekől számolt arányokat (R_1 , R_2 , R_3 és R_4 értékeket), valamint az $EC_{es} - EC_{ew}$ értékeket is feltüntettük. Az adatok jól mutatják, hogy $EC_{es} > EC_{ew}$, és hogy a kettő különbsége erősen függ a sók milyenségétől, az oldat sókoncentrációjával azonban lazább összefüggést mutat. Az elektromos vezetőképesség jeleniős hiszterézise [4, 5] nem magyarázható kizárólagosan a kationcserével és az adszorpcióval [1, 3, 10], a különbséget az ionoknak az agyagrészecskék pórusaiban való erőteljes visszatartása [2], valamint az okozhatja, hogy az oldat ionjai vízben rosszul oldódó vegyületekké alakulnak [3, 5]. Az elektromos vezetőképességnek koncentrációtól függő hiszterézise különösen a Na_2CO_3 -ot és NaHCO_3 -ot tartalmazó modellekben utal az oldat ionjainak kicsapódására [5]. Ez utóbbival azonos trendet mutatnak a sókeveréket tartalmazó rendszerek, ami szintén a rendszerekben jelen lévő HCO_3^- és CO_3^{2-} -ionok kicsapódásával magyarázható [3, 4, 5]. Annak érdekében, hogy a négyelektrodás szonda alkalmazhatóságát igazoljuk és megalapozzuk, felhasználtuk az előzőekben vázolt feltételek mellett mért elektromos vezetőképességi értékek arányait, az R_1 , R_2 , R_3 , R_4 értékeket. Először is szembevetjük, hogy a telítési kivonatokban mért elektromos vezetőképességek viszonya, az R_1 érték empirikusan megegyezik a telítési pépekben mért elektromos vezetőképességek arányával, az R_2 értékkel. A 2. táblázat szerint R_1 és R_2 átlagértéke a sók milyenségétől kevéssé függ, és az összes tiszta sót tartalmazó rendszerre vonatkoztatott átlagérték ($R_1 = 1,415$; $R_2 = 1,432$) igen közel van a keverék sót tartalmazó rendszereknél kapott értékhez ($R_1 = 1,432$; $R_2 = 1,418$). Ezek az adatok megerősítik, hogy körülbelül 40%-os eltérést kapunk akkor, ha a sós vízzel való öntözés által okozott sófelhalmozódást a telítési kivonatokban az elektromos vezetőképesség konvencionális módszerével mérjük, ahelyett, hogy a szabadföldön helyszínen határoznánk meg. Ahhoz tehát, hogy megkapjuk azt a vezetőképességi értéket, amely a talajban közvetlenül a sós vizes öntözés után lehetett, a laboratóriumban szokásos módon mért EC_e -értéket 1,4-del szorozni kell.

Az R_3 és R_4 arányok empirikus egyezése megadja a sók milyenségétől függően azoknak a faktoroknak a számszerű értékeit, amelyek segítségével a telítési pép vezetőképességéből a telítési kivonat megfelelő elektromos vezetőképességi értékét megkaphatjuk. Ezek a faktorok függetlenek a víz sótartalmától és sóösszetételétől. A különböző sókra kapott faktorok átlagértéke ($R_3 = 3,186$; $R_4 = 3,148$) empirikusan megegyezik a faktorok keverék sókra mért értékeivel ($R_3 = 3,185$; $R_4 = 3,148$). Egy 3,2-es értéket úgy tekinthetünk, mint az adott talajtípuson és a domináns sókomponensek esetében érvényes átlagértékű átszámítási faktort. A középértékeknek a sóminőségtől

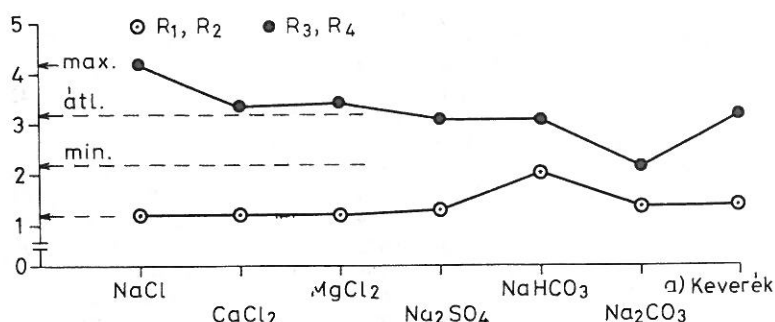
1. táblázat

Homokos vályogtalaj EC-értékének változása a sóoldatos, majd desztillált vizes kezelés után

(1) Jellemző sóféleség	EC _s (a)	EC _{cs} (b)	EC _{cw} (c)	EC _{ps} (d)	EC _{pw} (e)	EC _{cs} - EC _{cw} (b) - (c)	(2) Arányok			
	mS · cm ⁻¹ (25 °C)						b/c	d/e	b/d	c/e
							R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
NaCl	2,500	6,028	3,926	1,449	0,990	2,106	1,535	1,464	4,160	3,966
	4,813	7,975	5,588	1,883	1,324	2,387	1,427	1,422	4,235	4,220
	7,120	9,815	7,223	2,216	1,746	2,592	1,359	1,269	4,429	4,190
	9,156	11,259	9,007	2,925	2,262	2,252	1,250	1,293	3,849	4,034
	13,300	15,012	11,962	3,680	2,961	3,050	1,255	1,243	4,079	4,091
	18,100	17,599	15,318	4,507	3,821	2,281	1,149	1,180	3,905	4,060
CaCl ₂	2,470	5,070	3,930	1,683	1,314	1,590	1,290	1,281	3,013	2,991
	4,640	6,960	5,469	2,078	1,619	1,490	1,273	1,284	3,349	3,423
	6,775	8,413	6,326	2,550	1,932	1,258	1,330	1,320	3,299	3,274
	8,800	10,074	8,232	3,019	2,251	1,842	1,234	1,341	3,337	3,704
	12,976	13,431	10,175	3,928	3,002	1,279	1,320	1,309	3,419	3,389
	16,826	17,013	14,180	4,845	3,876	1,389	1,200	1,250	3,512	3,658
MgCl ₂	2,430	5,173	3,828	1,682	1,338	1,345	1,351	1,257	3,076	2,898
	4,503	6,897	5,844	1,896	1,527	1,053	1,180	1,242	3,638	3,876
	6,897	8,902	7,656	2,743	2,248	1,246	1,163	1,220	3,245	3,406
	8,700	10,488	8,700	3,208	2,576	1,788	1,206	1,245	3,269	3,421
	12,760	13,920	12,551	4,088	3,456	1,369	1,109	1,183	3,405	3,632
	16,464	17,204	15,466	4,732	4,079	1,738	1,112	1,161	3,646	3,791
Na ₂ SO ₄	2,356	4,785	3,590	1,625	1,268	1,595	1,330	1,282	2,945	2,830
	4,375	6,174	5,004	2,204	1,762	1,170	1,234	1,251	2,801	2,840
	6,543	7,893	5,981	2,349	1,779	1,912	1,320	1,320	3,360	3,406
	8,413	8,602	7,024	2,612	2,153	1,578	1,225	1,288	3,293	3,507
	11,778	11,095	9,570	3,467	2,459	1,525	1,159	1,213	3,200	3,262
	15,012	12,976	10,627	4,444	3,520	1,717	1,221	1,263	2,920	3,019
NaHCO ₃	2,510	4,138	1,914	1,296	0,644	2,224	2,162	2,012	3,193	2,972
	4,375	4,939	2,219	1,596	0,724	2,720	2,226	2,205	3,095	3,066
	6,543	5,800	2,718	1,941	0,905	3,548	2,134	2,111	2,988	3,003
	8,322	6,716	3,181	1,988	0,994	4,246	2,111	2,001	3,378	3,200
	11,600	7,656	3,857	2,750	1,288	4,253	1,985	2,135	2,784	2,995
	15,012	9,691	4,939	3,285	1,590	4,752	1,962	2,066	2,950	3,146
Na ₂ CO ₃	2,285	2,219	1,914	1,081	0,852	0,305	1,159	1,269	2,053	2,276
	4,253	2,640	1,938	1,316	0,920	0,702	1,362	1,430	2,006	2,136
	6,488	2,734	2,127	1,233	0,946	0,607	1,285	1,303	2,216	2,278
	8,322	2,945	2,219	1,345	1,006	0,726	1,327	1,337	2,190	2,239
	11,600	4,138	2,945	1,835	1,203	1,193	1,405	1,525	2,243	2,461
	13,920	5,548	3,403	2,519	1,629	2,145	1,630	1,562	2,203	2,116
a) Keverék	2,252	3,480	2,486	1,100	0,769	0,254	1,400	1,431	3,164	3,234
	4,253	5,548	3,774	1,820	1,289	0,452	1,471	1,412	3,048	2,928
	5,889	6,600	4,400	2,043	1,380	0,496	1,501	1,480	3,231	3,188
	7,656	7,155	5,038	2,200	1,516	0,422	1,420	1,451	3,252	3,323
	10,633	11,096	7,983	3,451	2,556	0,895	1,390	1,350	3,215	3,081
	14,177	13,920	9,872	4,350	3,148	1,006	1,410	1,382	3,200	3,136

EC_s: a sóoldat elektromos vezetőképessége; EC_{ps}: a sóoldattal készített talajpép elektromos vezetőképessége; EC_{cs}: a sóoldattal készített talajpép telítési kivonatának elektromos vezetőképessége; EC_{pw}: a megszáritott sós talajpépből desztillált vízzel készített telítési pép elektromos vezetőképessége; EC_{cw}: a fenti telítési pépből készült talajkivonat elektromos vezetőképessége.

függő grafikus ábrázolása (1. ábra) szerint az átszámítási faktor maximális értéke 4,1; a legkisebb érték 2,2; a középérték 3,15–3,2. Nyilvánvaló az is, hogy a CO_3^{2-} - és Cl^- - ionok hatása az oldat elektromos vezetőképességének értékére kölcsönösen kompenzálja egymást [3, 5] az általuk előidézett ioncserén, megkötésen és ülepedésen keresztül [3, 10].



1. ábra

A különböző előkészítések után mért elektromos vezetőképességek viszonyszámai középértékeinek függése a modellek készítésére használt sók milyenségétől. Függőleges tengely: viszonyszámok. Vízszintes tengely: sóféslek. a) keverék

2. táblázat

A különböző előkészítések után mért elektromos vezetőképességi értékek viszonyszámainak középértékei

(1) Jellemző sóféslek	(2) A viszonyszámok középértékei			
	$\text{EC}_{\text{cs}}/\text{EC}_{\text{cw}}$ (R ₁)	$\text{EC}_{\text{ps}}/\text{EC}_{\text{pw}}$ (R ₂)	$\text{EC}_{\text{cs}}/\text{EC}_{\text{ps}}$ (R ₃)	$\text{EC}_{\text{cw}}/\text{EC}_{\text{pw}}$ (R ₄)
NaCl	1,329	1,312	4,110	4,094
CaCl ₂	1,275	1,298	3,320	3,406
MgCl ₂	1,187	1,218	3,384	3,504
Na ₂ SO ₄	1,246	1,270	3,087	3,142
NaHCO ₃	2,097	2,088	3,064	3,064
Na ₂ CO ₃	1,361	1,404	2,152	2,251
a) Átlag	1,415	1,432	3,186	3,244
b) Sókeverék	1,432	1,418	3,185	3,148

A 3. táblázatban a különböző előkészítések után mért elektromos vezetőképességi értékek regressziós egyenleteit és a korrelációs koeficienseket adjuk meg.

Az 1. és 2. függvénycsoportok azt mutatják, hogy a talajba vitt sók mennyisége és az általuk előidézett sófelhalmozódás között lineáris összefüggés van, és hogy a sófelhalmozódásban az ionok a következő csökkenő sorrendben vesznek részt: Cl^- ; SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} [3]. Az 1. és 2. függvénycsoportokat összehasonlítva

3. táblázat

A különböző előkészítések után mért elektromos vezetőképességi értékek* regressziós egyenletei és a korrelációs koefficiensek

(1) 1. csoport $EC_{es} = aEC_s + b$			(5) 2. csoport $EC_{ew} = aEC_s + b$		
(2) Változók	(3) Regressziós egyenlet	(4) r	(2) Változók	(3) Regressziós egyenlet	(4) r
NaCl	$EC_{es} = 0,756 EC_s + 4,357$	0,99	NaCl	$EC_{ew} = 0,735 EC_s + 2,100$	0,99
CaCl ₂	$EC_{es} = 0,822 EC_s + 2,974$	0,99	CaCl ₂	$EC_{ew} = 0,687 EC_s + 2,045$	0,99
MgCl ₂	$EC_{es} = 0,857 EC_s + 3,040$	0,99	MgCl ₂	$EC_{ew} = 0,822 EC_s + 1,917$	0,99
Na ₂ SO ₄	$EC_{es} = 0,646 EC_s + 3,371$	0,99	Na ₂ SO ₄	$EC_{ew} = 0,570 EC_s + 2,358$	0,99
NaHCO ₃	$EC_{es} = 0,430 EC_s + 3,026$	0,99	NaHCO ₃	$EC_{ew} = 0,241 EC_s + 1,199$	0,99
Na ₂ CO ₃	$EC_{es} = 0,266 EC_s + 1,291$	0,94	Na ₂ CO ₃	$EC_{ew} = 0,132 EC_s + 1,393$	0,95
a) Keverék	$EC_{es} = 0,873 EC_s + 1,439$	0,99	a) Keverék	$EC_{ew} = 0,632 EC_s + 0,867$	0,99

(6) 3. csoport $EC_{es} = aEC_{ps} + b$			(7) 4. csoport $EC_{ew} = aEC_{pw} + b$		
(2) Változók	(3) Regressziós egyenlet	(4) r	(2) Változók	(3) Regressziós egyenlet	(4) r
NaCl	$EC_{es} = 3,734 EC_{ps} + 0,911$	0,99	NaCl	$EC_{ew} = 3,967 EC_{pw} + 0,176$	0,99
CaCl ₂	$EC_{es} = 3,704 EC_{ps} - 1,015$	0,99	CaCl ₂	$EC_{ew} = 3,873 EC_{pw} - 0,979$	0,99
MgCl ₂	$EC_{es} = 3,615 EC_{ps} - 0,625$	0,97	MgCl ₂	$EC_{ew} = 3,989 EC_{pw} - 1,111$	0,99
Na ₂ SO ₄	$EC_{es} = 2,950 EC_{ps} + 0,378$	0,98	Na ₂ SO ₄	$EC_{ew} = 3,269 EC_{pw} - 0,081$	0,94
NaHCO ₃	$EC_{es} = 2,654 EC_{ps} + 0,803$	0,98	NaHCO ₃	$EC_{ew} = 3,126 EC_{pw} - 0,063$	0,99
Na ₂ CO ₃	$EC_{es} = 2,312 EC_{ps} - 0,227$	0,99	Na ₂ CO ₃	$EC_{ew} = 2,042 EC_{pw} + 0,192$	0,99
a) Keverék	$EC_{es} = 3,233 EC_{ps} - 0,095$	0,99	a) Keverék	$EC_{ew} = 3,118 EC_{pw} + 0,055$	0,99

* A különböző fajta EC-értékek magyarázatát lásd az 1. táblázatban.

szembetűnik a sófelhalmozódás jellemzően kisebb mértéke, ha az oldatok HCO₃⁻ és CO₃²⁻-ionokat tartalmaznak, mivel ezek rosszul oldódó sók formájában kicsapódnak [3, 5] a jó minőségű vízzel való kezelés hatására, szemben a kloridot és szulfátot tartalmazó sós vizek által előidézett sófelhalmozódással, ahol sókicsapódás nincsen, vagy kisebb mértékű.

A 3. és 4. egyenletcsoportok a telítési pép és a megfelelő telítési kivonat elektromos vezetőképessége közötti összefüggést adják meg. Feltűnő, hogy a sókeveréket tartalmazó mintáknál mind a 3., mind a 4. függvénycsoport tagjai iránytangensének átlagértéke 3,2, amely érték empirikusan megfelel az R₃ és R₄ arányok ezen rendszerekben mért értékeinek.

Az oldat és talaj közötti egyensúly elérésének idejére vonatkozólag azt említhetjük meg, hogy a telítési pép készítése után közvetlenül, illetve 48 óra múlva mért elektromos vezetőképességek között az eltérés mintegy 3% volt. Hosszabb idő (30 nap) után a pépek elektromos vezetőképessége nagyobb mértékben változott, és ez a változás közel kétszer akkora volt az EC_{ps}- mint az EC_{pw}-értékek esetében.

Következtetések

Sós vízzel történő öntözésnél, a talajban bekövetkező sófelhalmozódás ellenőrzése céljából előnyben kell részesítenünk a helyszíni mérést a laboratóriumi vizsgálatokkal szemben, mivel az adatok között mintegy 40%-os eltérés van. Jóllehet a szabadföldön a nedves talaj állapota nem felel meg az ideális pép állapotának, de az ezáltal okozott hiba lényegesen kisebb az előbb említett különbségnél.

Az időben végzett helyszíni mérések elősegíthetik a megfelelő öntözést. Ismerve a víz és talaj milyenségét, a megfelelő faktorral kiszámítható a talaj elektromos vezetőképességéből az oldat vezetőképessége.

Összefoglalás

Talajok sóoldatokkal készített telítési kivonatainak elektromos vezetőképessége (EC_{es}) nagyobb volt, mint ugyanazon mintákból a sós talajpép beszárítása után desztillált vízzel készített telítési kivonatokban mért értékek (EC_{cw}). Az EC_{es}/EC_{cw} (R_1) arány értéke a sófelhalmozódást előidéző só milyenségének és koncentrációjának függvénye. $NaCl$, $CaCl_2$, $MgCl_2$, Na_2SO_4 , Na_2CO_3 esetében az R_1 arány értéke közelítőleg 1,3; $NaHCO_3$ esetében $R_1 = 2,1$ és az összes minta esetében az átlagérték 1,415. Ez utóbbi közel áll a keverék sók esetében mért 1,432-es értékhez. A telítési pépek elektromos vezetőképességei (EC_{ps} és EC_{pw}), valamint a sós vízzel és desztillált vízzel készített pépek elektromos vezetőképességeinek aránya EC_{ps}/EC_{pw} (R_2) a telítési kivonatoknál tapasztaltakhoz hasonló összefüggéseket mutat. Az EC_{es}/EC_{pc} (R_3) és EC_{cw}/EC_{pw} (R_4) arányok egymáshoz hasonlóak; értékük függ a sók milyenségétől, s az összes vizsgált mintára vonatkoztatott középértékük 3,2. Ez megfelel a sókeverékekkel készített talajmintában mért értékeknek. A regressziós egyenletek sóféleségenként lineárisak mindaddig, amíg a sóoldatok elektromos vezetőképessége nem haladja meg a $20 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ -t. A függvények korrelációs együtthatói minden esetben nagyok. Az R_1 és R_2 , valamint az R_3 és R_4 értékek azonossága arra mutat, hogy a talaj sótartalmának helyszíni meghatározása — például négyelektródás szondával — szükséges és lehetséges.

Irodalom

- [1] CHANDA, S. P.: Studies on cation exchange reactions on soils and quality of irrigation waters. Tech. Memo. IRDI, CWPRS, Poona. 1970.
- [2] Clay mineralogy. (Ed.: GRIM, R. E.) McGraw-Hill. New York. 126—160. 1953.
- [3] Diagnosis and improvement of saline and alkali soils (Ed.: RICHARDS, L. A.) Agric. Handbook No. 60. USDA. Washington D. C. 1954.
- [4] JURY, W. A. et al.: Transient changes in the soil-water system from irrigation with saline water: II. Analysis of experimental data. J. Soil Sci. Soc. Amer. 42. 585—590. 1978.
- [5] Quality of irrigation water. (Eds.: SHAINBERG, I. & OSTER, J. D.) IIIC Publication No. 2. 20—30. Israel. 1978.
- [6] RHOADES, J. D. & INGVALSON, R. D.: Determining salinity in field soils with soil resistance measurements. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35. 54—60. 1971.

- [7] RHOADES, J. D. & SCHILF-GAARDE, J. VAN: An electrical conductivity probe for determining soil salinity. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* **40**. 647—651. 1976.
- [8] SHEA, P. F. & LUTHIN, J. N.: An investigation of the use of the four electrode probe for measuring soil salinity in situ. *Soil Sci.* **92**. 331—339. 1961.
- [9] SINGH, S. P. & PAL, B.: Talajok elektromos vezetőképességének meghatározása négyelektrodás szondával. *Agrokémia és Talajtan.* **31**. 123—132. 1982.
- [10] Soil physics. (Ed.: BAVER, L. D.) Asia Publishing House. Bombay. 1960.
- [11] U.S. Salinity Laboratory Staff: Measuring soil salinity. *Irrinews, IIRC* No. 30. Israel. 1982.

Érkezett: 1984. augusztus 16.

A Four-Electrode Probe Study of Salinity Build-up in a Sandy Loam Soil

S. P. SINGH and B. PAL

Agra University, Raja Balwant Singh College, Bichpuri-Agra (India)

Summary

In order to show the acuteness of hysteresis in salinity determinations, we studied the EC response of a sandy loam soil having individual and mixed ionic salinity contributors by using a four-electrode probe device, and we tried to justify and establish the more viable application of the device for direct and accurate field measurements.

The soil used for the experiment had sandy loam texture with 19% clay, 15% silt, 65% sand, 8.0 pH, 12.0 me/100 g CEC, and its saturation percentage was 25. The extract EC of the original soil was 1.95 mS/cm.

The electrical conductivities of the extracts of the pastes made with saline water (EC_{es}) were found greater than the extract electrical conductivities of the same samples with distilled water (EC_{ew}). The ratio EC_{es}/EC_{ew} (R_1) was a function of the salinity contributing salt and its concentration. The values of this ratio R_1 were close to 1.3 in the case of NaCl, $CaCl_2$, $MgCl_2$, Na_2SO_4 , and $NaCO_3$, but it was 2.1 in the case of $NaHCO_3$. The over-all average was 1.415, a value close to 1.432 for salinity contributed by mixed ions. The variations in paste electrical conductivities (EC_{ps} , EC_{pw}) and their ratio EC_{ps}/EC_{pw} (R_2) were empirically similar. The ratios EC_{es}/EC_{ps} (R_3) and EC_{ew}/EC_{pw} (R_4) were empirically equal to each other, but showed salt dependence with an average value of 3.2, which was also the ratio for mixed ions.

The regression equations showed saltwise linear characteristics of salinity build-up with saline water of EC (EC_s) up to about 20 mS/cm. The coefficients of correlation were high in all cases.

The equalities of R_1 to R_2 and R_3 to R_4 suggest the respective necessity and feasibility of in situ measurement of salinity, say by four-electrode-probe technique.

Table 1. EC response of sandy loam soil with saline and distilled water. (1) Chief salinity contributor. a) Mixed. (2) Ratios. EC_s : the EC of saline solution; EC_{ps} : EC of paste made by saline solution; EC_{es} : EC of the saturation extract of the paste made by saline solution; EC_{pw} : EC of the paste made with distilled water from the dried saline paste; EC_{ew} : EC of the extract taken out of the paste made with distilled water from the dried saline paste.

Table 2. Averaged ratios of various EC values. (1) Chief salinity contributors. a) Average. b) Mixed. (2) Averaged ratios.

Table 3. Regression equations and correlation coefficients. (1) Type 1. EC of saline water (EC_s) used and the EC of the extract of the paste made by it (EC_{es}). (2) Variables. a) Mixed. (3) Regression equation. (4) Correlation coefficient. (5) Type 2. EC_s and EC of the extract of the

paste of the same sample made with distilled water (EC_{ew}). (6) Type 3. Four-probe EC of paste (EC_{ps}) with EC_{es} . (7) Type 4. EC_{pw} with EC_{ew} .

Fig. 1. Saltwise variation of average ratios of Table 2. Vertical axis: Ratios. Horizontal axis: Chief salinity contributors. a) Mixed. átl.: average.

Untersuchung der Salzakkumulation mittels einer Vierelektrodensonde in einem sandigen Lehm Boden

S. P. SINGH und B. PAL

Institut „Raja Balwant Singh“ der Universität zu Agra, Bichpuri-Agra (Indien)

Zusammenfassung

Um die Rolle der Hysterese bei der Bestimmung des Salzgehaltes zu veranschaulichen wurde die elektrische Leitfähigkeit eines sandigen Lehm Bodens im Falle von einem aus gleichen Ionen (homo) und aus unterschiedlichen Ionen (hetero) bestehenden Salzgehalt mit einer Vierelektrodensonde untersucht. Wir waren bestrebt, die Verwendbarkeit der Vierelektroden-sonde für direkte und genaue Messungen unter Feldbedingungen zu beweisen.

Der Versuchsboden war ein sandiger Lehm Boden mit 19% Ton-, 15% Schlamm- und 65% Sandgehalt. Das Sättigungsprozent betrug 25, die Kationenaustauschkapazität 12,0 mval/100 g Boden, der pH-Wert der wässrigen Bodensuspension 8. Die elektrische Leitfähigkeit des Sättigungsausgusses der ursprünglichen Bodenprobe war $1,95 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Die elektrische Leitfähigkeit der mittels Salzlösungen hergestellten Sättigungsauszüge (EC_{es} -Werte) war grösser als diejenige der aus denselben Bodenproben nach trocknen der salzhaltigen Bodenpaste mit destilliertem Wasser hergestellten Sättigungsauszüge (EC_{ew} -Werte). Der Wert des Verhältnisses $EC_{es}/EC_{ew} (= R_1)$ ist eine Funktion der Qualität und Konzentration des die Salzakkumulation verursachenden Salzes. Im Falle von NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 beträgt der Wert dieses Verhältnisses annähernd 1,3; im Falle von NaHCO_3 ist er 2,1, und der Mittelwert sämtlicher Proben ist 1,415. Letzterer Wert steht dem im Falle der Mischsalze gemessenen Wert von 1,432 sehr nahe. Das Verhältnis der elektrischen Leitfähigkeit der Sättigungspaste, sowie derjenigen der mit salzhaltigem Wasser und destilliertem Wasser hergestellten Bodenpasten, $EC_{ps}/EC_{pw} (= R_2)$, zeigt ähnliche Zusammenhänge, wie sie bei den Sättigungsausgüssen auftraten. Die Werte der $EC_{es}/EC_{ps} (= R_3)$ und $EC_{ew}/EC_{pw} (= R_4)$ Verhältniszahlen sind einander ähnlich und hängen von der Qualität der Salze ab. Ihr Mittelwert betrug auf alle untersuchten Proben bezogen 3,2. Dieser Wert entspricht den in mittels einer Salzmischung hergestellten Bodenproben bestimmten Werten.

Die Regressionsgleichungen sind bei jeder Salzart linear bis die elektrische Leitfähigkeit der Salzlösungen den Wert von $20 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ nicht überschreitet. Die Korrelationskoeffizienten der Gleichungen sind in jedem Fall gross.

Die Übereinstimmung der R_1 - und R_2 -Werte, wie auch diejenige der R_3 - und R_4 -Werte weist darauf hin, dass die Bestimmung des Salzgehaltes der Böden im Feld — z. B. mittels einer Vierelektrodensonde — notwendig und möglich ist.

Tab. 1. Änderung der elektrischen Leitfähigkeit eines sandigen Lehm Bodens nach Behandlung mit einer Salzlösung und danach mit destilliertem Wasser. (1) Kennzeichnende Salzart. a) Mischung. (2) Verhältnisse. EC_s : elektrische Leitfähigkeit der Salzlösung; EC_{ps} : elektrische Leitfähigkeit der mit der Salzlösung hergestellten Bodenpaste; EC_{es} : elektrische Leitfähigkeit des Sättigungsausgusses der mit der Salzlösung hergestellten Bodenpaste; EC_{pw} : elektrische Leitfähigkeit der aus der getrockneten, salzhaltigen Bodenpaste mit destilliertem Wasser hergestellten Sättigungspaste; EC_{ew} : elektrische Leitfähigkeit des aus obiger Bodenpaste hergestellten Bodenausgusses.

Tab. 2. Mittelwerte der Verhältniszahlen der verschiedenen elektrischen Leitfähigkeitswerte, gemessen nach unterschiedlichen Vorbereitungsverfahren. (1) Kennzeichnende Salzart. a) Mittelwert; b) Salzmischung. (2) Mittelwerte der Verhältniszahlen.

Tab. 3. Regressionsgleichungen und Korrelationskoeffizienten der nach verschiedenen Vorbereitungsverfahren gemessenen elektrischen Leitfähigkeitswerte*. (1) Gruppe 1: $EC_{es} = aEC_s + b$. (2) Varianten. a) Mischung. (3) Regressionsgleichung. (4) Korrelationskoeffizient. (5) Gruppe 2: $EC_{ew} = aEC_s + b$. (6) Gruppe 3: $EC_{es} = aEC_{ps} + b$. (7) Gruppe 4: $EC_{ew} = aEC_{pw} + b$. *Erklärung für die verschiedenen EC-Werte siehe in Tab. 1:

Abb. 1. Abhängigkeit der Mittelwerte der Verhältniszahlen der elektrischen Leitfähigkeit (Tab. 2.), gemessen nach den verschiedenen Vorbereitungsverfahren, von der zur Herstellung der Modelle verwendeten Salzart. Abszisse: Verhältniszahlen. Ordinate: Salzarten. a) Mischung. átl.: Mittelwert.

Изучение содонакопления в легкосуглинистой почве с помощью четырехэлектродного зонда

Ш. П. СИНГ и Б. ПАЛ

Институт Райя Балвант Аграйского Университета, Бичпури-Агра (Индия)

Резюме

Для выяснения роли гистерезиса в определении содержания солей, при содержании в почве моно- и смешанных солей определили электропроводность почвы с помощью четырехэлектродного зонда. Ставили целью обосновать и доказать применимость четырехэлектродного зонда в прямом и точном измерении электропроводности почвы в полевых условиях. Исползованная в опыте почва по механическому составу являлась легким суглинком, содержала 19% глины, 15% ила и 65% песчаных частиц. Процент насыщенности 25, ёмкость катионного обмена 12,0 мг.экв/100 г, рН водной суспензии 8. Электропроводность насыщенной вытяжки из исходной почвы: $1,95 \text{ мС} \cdot \text{см}^{-1}$.

Электропроводность насыщенных вытяжек, приготовленных с помощью солевых растворов (EC_{es}) была выше по сравнению с электропроводностью, измеренной в насыщенных вытяжках, приготовленных с дистиллированной водой из почвенной пасты тех же самых почвенных образцов после их высушивания (EC_{ew}). Величина соотношения EC_{es}/EC_{ew} (R_1) является функцией типа и концентрации солей вызывающих засоление. При использовании NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 , Na_2SO_4 , Na_2CO_3 величина R_1 составляет приблизительно 1,3; в случае NaHCO_3 $R_1 = 2,1$, средняя величина для всех образцов составляет 1,415. Эта последняя близко стоит к величине, измеренной для смешанных солей ($R_1 = 1,432$). Электропроводность насыщенных паст (EC_{ps} и EC_{pw}), а также соотношение электропроводностей паст, приготовленных с помощью воды и солевых растворов EC_{ps}/EC_{pw} (R_2) показывает связи, полученные для насыщенных вытяжек. Соотношения EC_{es}/EC_{ps} (R_3) и EC_{ew}/EC_{pw} (R_4) сходны друг с другом; величины их зависят от типа солей, средняя величина, отнесенная на все изученные образцы — 3,2. Это соответствует величинам, измеренным в почвенных образцах приготовленных со смесями солей.

Регрессионные уравнения остаются линейными по отношению к типам солей до тех пор, пока электропроводность солевых растворов не превысит $20 \text{ мС} \cdot \text{см}^{-1}$. Корреляционные коэффициенты зависимостей во всех случаях довольно высокие.

Тождественность величин R_1 и R_2 , R_3 и R_4 указывает на то, что определение на месте содержания солей в почве — например четырехэлектродным зондом — необходимо и вполне возможно.

Табл. 1. Изменение электропроводности легкосуглинистой почвы после обработки солевым раствором, а затем дистиллированной водой. (1) Характерный тип соли. а) Смесь солей. (2) Соотношения: EC_s : электропроводность солевого раствора; E_{ps} : электропроводность почвенной пасты, приготовленной с солевым раствором; EC_{es} : электропроводность насыщенной вытяжки из почвенной пасты, приготовленной с солевым раствором; EC_{pw} : электропроводность насыщенной пасты, приготовленной с дистиллированной водой из высушенной засоленной почвенной пасты; EC_{ew} : электропроводность почвенной вытяжки, приготовленной из вышеуказанной насыщенной пасты.

Табл. 2. Средние значения относительных величин электропроводности, измеренной после проведения предварительных обработок. (1) Характерный тип соли. а) Среднее; б) Смеси солей. (2) Средние значения относительных величин.

Табл. 3. Регрессионные уравнения и корреляционные коэффициенты величин* электропроводности, измеренной после проведения различных предварительных обработок. (1) 1. группа: $EC_{es} = aEC_s + b$. (2) Переменные. а) Смесь. (3) Уравнение регрессии. (4) Коэффициент корреляции (r). (5) 2. группа: $EC_{ew} = aEC_s + b$. (6) 3. группа: $EC_{es} = aEC_{ps} + b$. (7) 4. группа: $EC_{ew} = aEC_{pw} + b$. * Объяснение к различным величинам ЕС смотри в таблице 1.

Рис. 1. Зависимость средних значений относительных величин (Табл. 2) электропроводности, измеренной после различных обработок, от типа солей, использованных в опыте. По горизонтальной оси: тип соли. По вертикальной оси: относительные величины. а) смесь. átl: среднее.